

Aus der Kinderklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. A. Windorfer

Strahlenbelastung durch Röntgendiagnostik bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
dem Fachbereich Medizin
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Klaus Hiemeyer
aus Augsburg

1977

1977 # 69

Aus der Kinderklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. A. Windorfer

Strahlenbelastung durch Röntgendiagnostik bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
dem Fachbereich Medizin
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Klaus Hiemeyer
aus Augsburg

Gedruckt mit Erlaubnis des Fachbereiches Medizin
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. E. Rügheimer
Referent: Prof. Dr. H. Gutheil
Korreferent: Prof. Dr. A. Windorfer
Tag der mündlichen Prüfung: 27. Januar 1977



Meinen lieben Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Herrn Prof. Dr. med. H. Gutheil danke ich für die Überlassung des Themas, für die Durchsicht und Korrektur sowie die Übernahme des Referates.

Herrn Dipl. phys. Dr. Th. Schmidt, Institut für Radiologie, danke ich für die stets freundliche Beratung.

Für die hilfreiche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit möchte ich Frl. cand. med. S. Fischer, Frl. A. Schmidt, Frl. Hölzel und Frau Künstler meinen Dank aussprechen.

I N H A L T

	Seite
Einleitung	2
Methodik und Ergebnisse:	3
a) Auswertung der Krankenblätter und Herzkatheterprotokolle	8
b) Messung der Strahlendosis mit dem Diamentor	19
Besprechung der Ergebnisse	23
Zusammenfassung	26
Literaturverzeichnis	27

Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist die Zahl der Röntgenuntersuchungen bei Kindern sprunghaft angestiegen. Seit 1950 hat sie sich vervierfacht (FENDEL). Bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern werden nun ganz besonders intensiv röntgendiagnostische Methoden eingesetzt, denken wir nur an die Herzkatheteruntersuchung (HKU) und die Angiokardiographie (AKG).

Gerade diese Untersuchungen werden aber immer häufiger angewendet. Das liegt zum einen daran, daß durch die Vorsorgeuntersuchungen bei Kindern mehr Herzfehler entdeckt werden als früher. Dazu kommt als wichtiger Grund, daß die Operationsresultate immer besser werden. Deswegen steigt die Zahl der diagnostischen Herzkatheteruntersuchungen stetig an. Waren es zum Beispiel an der Kardiologischen Abteilung der Erlanger Universitäts-Kinderklinik im Jahre 1965 noch 99 HKU, so waren es zehn Jahre später schon knapp vier mal so viele, nämlich 381. Wir haben also eine beachtliche Steigerung des Einsatzes von röntgendiagnostischen Methoden bei Herzkindern in den letzten Jahren zu verzeichnen.

Nun wird aber immer genauer bekannt, wie gefährlich die Strahlenbelastung gerade für den kindlichen Organismus ist. Es fehlt jedoch bisher in der Literatur an genauen Angaben, wieviele Herzkatheteruntersuchungen, Angiokardiographien und Herzfernaufnahmen (HFA) ein Kind mit angeborenem Herzfehler im Laufe der Jahre über sich ergehen lassen muß. So ist auch die Strahlenbelastung nicht sicher zu schätzen.

Eigene Untersuchungen

Ziel dieser Arbeit ist es, an 314 ausgewählten Patienten der Kardiologischen Abteilung der Erlanger Universitäts-Kinderklinik zu zeigen, wieviele röntgendiagnostischen Untersuchungen bei diesen Kindern im Durchschnitt nötig waren, und gleichzeitig abzuschätzen, wie groß die Strahlenbelastung war und wie sie sich auf die einzelnen Untersuchungen verteilt.

Die Arbeit gliedert sich in zwei Teile:

Im ersten wird bei 314 Kindern anhand von Angaben aus Krankenblättern und Protokollen der Herzkatheteruntersuchungen zusammengestellt, in welchem Zeitraum wieviele und welche Untersuchungen notwendig waren. Gewertet wurden:

1. Die Zahl der Herzfernaufnahmen
2. Die Zahl der Herzkatheteruntersuchungen
3. Die Zahl der Angiokardiographien

Im zweiten Teil wird dann anhand von Dosimetermessungen aus der Erlanger Kinderklinik und von Angaben aus der Literatur die Strahlenbelastung der einzelnen Untersuchungen abgeschätzt. Daraus wird die Gesamtbelastung abgeleitet und festgestellt, wie sie sich aus den einzelnen Untersuchungen zusammensetzt.

Röntgenanamnese bei Kindern mit angeborenem Herzfehler:

Bei Kindern mit angeborenem Herzfehler wird dieser manchmal schon gleich nach der Geburt, oft allerdings erst Jahre später entdeckt. Immer wird das Kind dann zum Facharzt überwiesen, und hier wird meist auch die erste Thoraxaufnahme angefertigt. Wenn nun ein Herzfehler gesichert ist, wird entweder eine Herzkatheteruntersuchung angeschlossen, um Morphologie und Hämodynamik des Herzfehlers zu bestimmen, oder es wird je nach Alter und Zustand des Kindes abgewartet und die Herzkatheteruntersuchung erst kurz vor einem eventuellen Operationstermin anberaumt. In den dazwischenliegenden Jahren werden noch einige Röntgenaufnahmen vorgenommen, um den Verlauf zu kontrollieren.

Für die Zeit nach der ersten Herzkatheteruntersuchung kann nun die Röntgenanamnese ganz verschieden aussehen:

1. Die HKU ergibt keinen organischen Herzfehler, der Verdacht war unbegründet. Das war bei 16 Kindern der Fall. Diese Fälle wurden nicht berücksichtigt.
2. Die HKU ergibt einen leichten Herzfehler mit guter Prognose und ohne Indikation zu operativem Eingreifen. In den nächsten Jahren folgen noch einige Herzfernaufnahmen zur Kontrolle, dann endet meist die Röntgenanamnese.
3. Die HKU ergibt einen Herzfehler mit Indikation zur Operation. Darauf folgt eine Operation mit meist mehreren Kontroll-HFA und einer, manchmal auch zwei Kontroll-Herkatheteruntersuchungen.
4. Die HKU ergibt einen komplizierten Herzfehler. Es schließen sich Operation und oft mehrere Herzkatheteruntersuchungen an.

Tabelle 1 zeigt, bei wieviel Kindern jeweils eine bestimmte Zahl von Röntgenuntersuchungen vorgenommen wurde.

Auswahl der Patienten

Um allgemeingültige Aussagen bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern machen zu können, sind nur Patienten in die Studie aufgenommen worden, die folgende Forderungen erfüllen:

1. Es werden nur solche Patienten berücksichtigt, bei denen wenigstens einmal im Verlauf der Beobachtungsdauer eine Herzkatheteruntersuchung durchgeführt wurde. Denn die entscheidende Strahlenbelastung stammt aus dieser Untersuchung.

2. Das Alter der Kinder muß im Jahr 1976 mindestens 5 Jahre betragen haben. Denn es gibt Kinder mit schweren Herzfehlern und einer Serie von HKU in den ersten Lebensjahren, die aber dann sehr früh sterben. Diese könnten das Bild verzerren und wurden durch diese Maßnahme ausgeschieden.

3. Es wurden nur Patienten aufgenommen, bei denen die letzte HKU nach dem Jahre 1971 vorgenommen wurde. Eine Grenze nach unten mußte gezogen werden, und das Jahr 1971 ist insofern ein Grenzzjahr, als seit dieser Zeit die jährliche Katheterzahl an der Kardiologischen Abteilung der Kinderklinik über 300 liegt.

Die Patienten wurden nun dadurch gewonnen, daß aus den 3000 kranken Kindern, die in der ambulanten Kartei der Kardiologischen Abteilung geführt werden, diejenigen ausgewählt wurden, für die 1 - 3 zutraf. Das war bei 314 Kindern der Fall. Kinder, die vor 1976 gestorben sind, werden nicht mehr in dieser Kartei geführt und sind dadurch auch nicht berücksichtigt.

Wie sich die 314 Kinder auf die einzelnen Herzfehler verteilen, zeigt Tabelle 2 .

Sammeln der Daten

Den ausgewählten ambulanten Krankenblättern wurden folgende Angaben entnommen:

1. Art des Herzfehlers
2. Zeitpunkt und Anzahl der Herzkatheteruntersuchungen
3. Zeitpunkt und Anzahl der ambulanten Herzfernaufnahmen
4. Beginn und Dauer der ambulanten Überwachung

Anschließend wurden aus den Protokollen der Herzkatheteruntersuchungen folgende Angaben gewonnen:

5. Durchleuchtungszeit (DL-Zeit)
6. Zahl der Angiokardiographien

Aus den stationären Krankenblättern stammt die Angabe:

7. Anzahl der stationären Herzfernaufnahmen

Aus diesen Daten konnte bei jedem Kind die Zahl der röntgendiagnostischen Untersuchungen ermittelt werden, und daraus war anschließend die Berechnung der Strahlenbelastung möglich.

Dadurch, daß bei jedem Patienten bekannt ist, wann und in welchem Alter die erste und wann die letzte röntgendiagnostische Untersuchung gemacht wurde, kann auch noch unterschieden werden, wie lange die Behandlung jeweils gedauert hat. Danach wurden die Patienten in Gruppen eingeteilt:

Die Aufteilung der Gruppen zeigt Tabelle 3 .

Von den 314 Kindern ergaben sich so über die Jahre verteilt Daten über 527 HKU, 660 AKG und 1675 HFA. Die Ergebnisse wurden geordnet und ausgewertet.

Anzahl HKU	1	2	3	4
Zahl der Kinder	152	118	37	7

Anzahl HFA	1 - 4	5 - 9	10-15	über 15
Zahl der Kinder	142	137	35	1

Tabelle 1: Verteilung der Anzahl von Herzkatheteruntersuchungen und Herzfernaufnahmen auf die untersuchten Kinder

Herzfehler	VSD	ASD	AoS	PS	FT	DB
Zahl der Patienten	109	78	31	35	28	33
Prozent der Fälle	33	25	je etwa 10			

Tabelle 2: Verteilung der verschiedenen Herzfehler auf die untersuchten Kinder. Die Abkürzungen werden auf der nächsten Seite erklärt.

Beobachtungsdauer	bis 2 J	2 - 6 J	6 -10 J
Zahl der Kinder	78	130	106

Tabelle 3: Einteilung der Kinder nach ihrer Beobachtungsdauer

Ergebnisse

Auf den folgenden 6 Seiten sind alle Werte angeführt, die aus den Krankenblättern und Katheterprotokollen ermittelt wurden. Die Patienten sind nach Art ihres Herzfehlers und nach der Beobachtungsdauer in Gruppen zusammengefaßt. In einer Zeile stehen nach dem Geburtsjahr und dem Geschlecht des Patienten jeweils das Alter bei der Erstuntersuchung und einer eventuellen Operation, sowie Werte zu den einzelnen Röntgenuntersuchungen.

In Tabelle 4 sind als Zusammenfassung die Mittelwerte für die einzelnen Herzfehler aufgeführt.

Folgende Abkürzungen werden verwendet:

- G: Geschlecht m = männlich, w = weiblich
- Gj: Geburtsjahr
- AbE: Alter bei der Erstuntersuchung
- HKU: Anzahl der Herzkatheteruntersuchungen, sowie gesamte Durchleuchtungszeit (min) und Zahl der dabei angefertigten Angiokardiographien (AKG)
- HFA: Anzahl der angefertigten Herzfernaufnahmen
- AbOP: Alter bei der Operation - wo nicht angegeben erfolgte keine Operation

Die Herzfehler werden wie folgt abgekürzt:

- VSD: Ventrikelseptumdefekt
- ASD: Vorhofseptumdefekt
- FT: Fallot-Tetralogie
- AoS = AS: Aortenstenose
- PS: Pulmonalstenose
- DB: Ductus arteriosus Botalli apertus

Die römischen Zahlen hinter den Herzfehlern bedeuten:

- I: Beobachtungszeitraum bis 2 Jahre
- II: Beobachtungszeitraum 2 - 6 Jahre
- III: Beobachtungszeitraum 6 - 10 Jahre

	Age	Sex	Length	Weight	H&A	Ab P
VSD I						
m 58	1		10	2	2	15
m 61	1		10	3	4	11
m 61	1		10	1	1	-
m 62	1		8	1	2	-
w 62	1		7	1	2	-
m 62	1		7	2	1	-
w 62	1		8	1	2	-
w 63	1		15	1	2	-
w 63	1		15	2	11	5
m 64	9	1	7	1	2	-
w 64	6		10	3	5	6
w 64	2		8	2	1	-
m 65	0	1	23	2	2	-
m 66	8			1	1	-
w 66	8	1	13	1	3	-
w 66	6		5	1	1	-
m 67	3		8	1	1	-
w 67	6	1	10	1	1	6
m 67	6	2	11	1	3	0
w 68	6	1	9	1	4	-
m 68	4	1	7	1	2	-
w 68	7	1	6	2	0	-
m 69	5	1	3	1	3	6
w 70	6	1	13	1	2	-
w 72	1	2	17	4	4	-
w 73	1	1	12	3	4	-

VSD II						
m 61	7	1	5	1	7	-
m 62	5	2	9	1	7	6
m 62	8	2	14	2	5	-
m 63	6	2	16	2	5	-
m 63	10	1	6	2	3	-
w 63	7	1	11	1	4	-
m 63	7	1	4	1	4	-
m 64	7	1	8	1	4	-
m 64	9	1	12	2	3	-
w 65	5	1	5	1	4	-
w 65	6	1	6	1	3	-
m 65	4	2	26	2	6	7
w 65	7	1	3	1	2	-
w 65	4	2	6	1	2	-
m 65	3	1		1	4	-
m 65	3	2	11	4	2	3
m 65	3	2	10	1	4	6
w 66	3	1	3	1	5	-
m 66	6	1	5	2	4	-
m 66	4	2	10	3	6	-
w 66	3	1	5	1	2	-
m 66	6	1	6	1	2	6
w 66	4	2	23	2	3	-
m 66	4	2	11	2	7	7
m 67	3	2	27	2	4	-
w 67	3	1	5	1	4	-

	G Gj	AbE	ILU	min	ang	HFA	AbOP
VSD II	w 67	1	1	7	2	6	-
	w 67	1	2	14	2	4	-
	m 67	1	1	3	1	6	-
	m 67	1	1	5	1	3	-
	m 67	5	1	9	2	7	-
	w 67	2	2	19	3	5	-
	w 68	1	1	9	1	3	-
	w 68	2	1	8	1	2	-
	m 68	1	1	7	1	6	-
	m 68	3	2	14	2	5	-
	m 68	3	1	4	1	5	-
	m 68	3	3	35	4	7	5
	w 69	1	1	6	1	4	-
	m 69	4	1	7	2	3	-
	w 69	3	1	4	1	5	-
	w 69	4	1	20	2	5	-
	m 69	2	2	37	3	3	-
	m 69	1	1	13	1	5	-
	m 69	3	2	26	3	9	7
	w 69	3	2	21	3	7	-
	m 70	1	1	23	3	8	-
	m 70	1	3	32	3	7	4
	m 71	2	2	26	2	7	2
	m 73	1	2	46	4	6	-
VSD III	m 60	4	2	20	1	6	-
	w 60	8	3	21	3	8	-
	m 60	5	2	20	2	7	-
	w 61	8	2	16	2	7	-
	w 61	3	2	14	1	15	6
	m 62	9	3	35	3	3	-
	m 62	5	2	16	1	7	-
	w 62	4	2	12	1	6	-
	w 63	5	2	9	2	5	-
	w 63	5	2	6	1	7	-
	w 63	6	2	12	3	6	7
	w 63	5	2	14	2	6	10
	m 63	4	3	53	4	6	-
	m 64	1	2	8	1	9	-
	w 64	1	3	40	4	16	6
	w 65	3	2	7	2	4	10
	w 66	2	2	9	3	6	-
	w 66	1	1	10	2	3	-
	m 66	2	2	11	3	7	-
	w 66	1	3	25	4	13	-
	w 66	2	2	14	3	7	-
	w 66	2	3	23	2	8	-
	m 66	2	4	29	5	10	9
	m 67	3	2	15	4	8	6
	m 68	1	2	15	2	6	-
	w 68	1	4	38	3	12	2/7
	m 68	1	4	45	6	10	7
	w 69	1	2	18	2	7	-
	m 69	1	2	12	3	4	7
	m 69		1	22	2	7	-
	w 69	1	1	9	1	4	-
	w 69	1	3	28	4	11	1/4
	w 70	1	2	13	1	9	6

	G A	AbE	min	min	min	AbOP
ASD I	w 61	0	1	1	-	-
	w 61	7	1	11	1	7
	w 61	1	1	13	1	13
	w 62	17	1	19	2	13
	m 62	1	2	16	2	-
	m 62	1	1	16	1	-
	w 62	11	1	21	3	1
	m 64	8	1	9	1	-
	m 64	7	1	22	2	-
	m 65	1	1	6	2	-
	w 65	1	1	10	1	11
	m 65	2	1	18	2	-
	m 67	1	1	8	1	-
	w 68	7	1	6	2	7
	m 68	7	1	5	2	7
	m 68	4	1	5	2	-
	m 69	1	1	9	2	6
	w 69	3	1	20	1	-
	w 70	3	1	5	2	-
	m 70	1	1	20	1	5

ASD II	w 62	10	1	6	2	5	12
	m 62	7	2	11	1	5	-
	m 62	11	2	20	2	5	13
	w 62	10	1	9	1	5	-
	w 62	11	1	7	2	2	13
	w 63	11	1	6	1	2	-
	m 63	10	1	7	1	4	-
	w 63	10	1	4	2	5	11
	w 63	6	1	5	2	5	-
	m 64	9	1	12	2	5	-
	w 64	9	1	7	2	5	-
	w 64	4	2	18	4	4	-
	m 64	5	2	12	2	2	-
	m 64	8	1	7	2	4	9
	m 64	6	1	6	0	5	-
	w 64	7	3	25	6	5	9
	w 65	7	1	5	1	5	-
	w 65	6	2	37	4	5	6
	m 65	5	1	7	1	4	8
	w 65	8	1	9	1	4	10
	w 66	1	2	6	1	7	-
	w 66	3	2	10	4	5	-
	w 66	7	1	5	2	5	-
	w 66	5	1	7	1	5	5
	w 66	1	1	11	1	5	10
	m 67	5	1	8	2	5	-
	w 67	6	1	8	2	5	7
	m 67	4	1	8	2	4	5
	w 67	2	2	11	4	2	6
	w 67	7	1	16	2	5	-
	w 68	7	1	5	1	5	-
	m 68	4	1	4	2	5	-
	w 69	2	1	8	2	5	-
	m 69	4	1	8	2	5	-

	G Gj	AbE	HKU	min	Ang	HFA	AbOP
ASD III	m 61	2	3	50	3	13	5
	w 64	5	1	8	2	4	-
	m 64	3	2	10	4	6	-
	m 64	4	1	8	0	8	6
	w 65	3	2	13	2	7	8
	w 65	2	2	18	3	7	-
	w 65	2	2	24	4	7	5
	w 65	1	3	47	4	8	9
	w 65	3	2	14	3	6	-
	w 65	4	2	16	4	9	9
	w 66	2	2	17	2	4	7
	w 66	3	2	9	4	7	8
	m 66	1	2	7	3	7	7
	w 67	3	1	12	1	7	-
	w 67	2	2	17	4	7	-
	w 68	2	2	24	4	10	6
	w 68	1	2	23	4	7	-
	w 68	3	1	11	2	7	-
	m 68	2	1	15	1	4	-
	m 68	1	1	7	2	5	-
	w 69	2	1	7	2	3	6
	w 69	1	2	39	4	6	-
	w 69	1	3	44	7	10	-
	w 69	1	2	35	4	10	-
Fallot II	m 66	6	1	5	2	6	6
	m 67	3	3	30	3	7	7
	m 67	3	3	40	6	8	6
	m 68	2	2	15	2	5	-
	m 68	3	2	20	2	7	4
	m 69	3	2	27	4	12	7
	m 69	1	2	15	4	11	6
	w 70	1	2	39	4	10	2
	m 70	1	2	14	5	9	5
	w 70	2	2	54	5	5	5
	m 71	1	2	25	5	6	1
	w 71	2	3	30	3	7	2/5
Fallot III	w 59	5	5	56	3	18	11
	m 61	5	3	18	4	13	9
	w 64	1	3	36	1	10	6
	w 64	6	3	45	5	11	6/12
	m 65	1	3	91	3	9	3
	w 65	3	5	85	4	14	3/9
	w 67	1	2	11	1	10	2
	w 67	1	3	14	3	10	7
	m 67	1	2	22	3	14	2/7
	m 68	1	3	16	4	10	6
	m 68	1	2	53	1	11	6
	m 68	1	3	30	5	9	6
	w 68	1	3	42	3	11	6
	m 69	2	2	20	3	6	6
	m 69	1	3	19	3	15	2/6
	w 69	1	3	36	4	10	2/6

	1	2	3	4	5	6	7
AS I	m 61	1	1	16	1	3	-
	m 62	1	1	1	1	3	1
	m 63	1	1	16	1	1	-
	m 64	1	1	8	1	2	-
	m 65	1	1	4	1	3	-
	m 66	1	1	2	1	2	-
	w 66	1	1	25	1	6	9
	m 67	1	1	4	1	3	-
	m 68	1	1	22	1	3	-
	m 69	1	1	21	1	2	-
AS II	m 61	3			1	4	-
	m 62	1			1	3	-
	m 63	1	2	14	3	4	-
	w 63	12	1	8	1	3	-
	w 64	10	1	6	1	1	-
	w 65	8	2	61		3	-
	m 65	5	2	11	1	5	-
	m 67	3	2	14	3	5	-
	m 68	4	1	1	1	5	-
	m 68	3	1	9	1	5	-
	m 68	3	2	62	4	4	-
	m 69	1	1	11	3	3	-
AS III	m 61	8	2	16	3	5	-
	m 61	8	2	26	3	7	9
	m 61	3	3	40	4	16	10
	m 62	6	2	17	3	4	-
	m 62	6	3	20	3	10	-
	m 64	4	2	8	2	1	-
	w 65	4	2	13	4	7	5
	m 66	2	2	7	2	6	-
	w 69	1	2	19	3	6	-
PS I	m 61	10	1	6	2	1	-
	w 62	8	1	7	1	3	-
	m 63	10	1	13	1	3	-
	w 63	9	1	8	1	2	-
	w 65	7	1	5	1	2	-
	w 66	6	1	7	1	2	-
	w 66	6	1	5	1	2	-
	w 66	8	1	7	1	2	-
	m 66	8	1	11	1	2	-
	w 66	9	1	17	2	1	-
	w 69	5	1	31	3	2	-
PS II	w 63	7	1	5	1	7	-
	m 64	12	3	32	6	5	8/10
	m 65	7	1	8	1	3	-
	m 65	5	2	17	2	3	-
	w 67	5	1	3	2	3	-
	w 68	2	2	20	3	6	-
	w 69	3	1	11	2	3	-
	m 69	1	1	8	1	3	-
	w 70	1	2	27	2	7	5

	G Gj	Abd	HKU	min	Ang	uFA	Abu
FS III	w 62	1	2	14	1	11	-
	w 64	4	2	15	1	7	-
	m 65	4	2	20	2	6	-
	m 66	1	2	20	2	9	-
	w 66	4	1	6	1	4	-
	m 66	1	4	29	5	13	-
	w 66	2	3	11	5	10	-
	m 67	1	3	18	4	7	-
	m 67	2	3	31	6	7	-
	m 67	1	2	11	1	5	-
	w 67	1	1	9	3	10	-
	w 68	1	2	10	2	8	-
	w 68	1	3	27	3	8	6
	m 68	3	2	24	3	6	6
	w 69	1	2	15	4	6	2
DB I	w 61	12	1	7	1	3	15
	w 62	13	1	9	1	2	15
	w 62	13	1	26	1	2	15
	w 64	7	1	5	1	3	9
	m 64	11	1	8	1	2	12
	w 65	10	1	14	0	1	11
	m 67	8	1	12	0	2	9
	w 67	8	1	19	1	2	-
	w 69	4	1	13	1	3	-
	w 69	6	1	19	1	1	7
	m 69	7	1	12	1	3	7
DB II	w 59	11	2	28	3	2	12
	m 61	9	2	15	2	5	9
	m 66	7	1	15	1	2	7
	m 66	5	2	10	0	12	5
	m 68	4	1	9	1	3	5
	m 68	5	1	12	1	5	-
	w 69	1	2	12	2	5	2
	w 69	3	1	15	2	4	3
	w 69	1	2	8	2	9	2
	w 70	2	2	15	2	8	2
	w 70	3	1	7	1	6	4
	w 70	1	3	49	9	5	2
	m 70	2	2	17	3	5	2
DB III	m 59	11	2	16	1	3	-
	w 61	9	2	6	1	8	9
	m 61	3	4	52	2	18	4
	m 62	6	2	11	0	6	6
	m 67	1	3	14	2	9	4
	w 6	1	2	11	1	7	-
	w 69	1	2	7	0	5	2
	m 69	1	3	21	4	10	1
	w 69	1	2	7	1	6	2

	Zahl der Kinder	HKU Anzahl	min	AKG	HFA
VSD	109	1,7	14,9	2,0	5,0
SB	78	1,4	15,1	2,3	4,5
AoS	31	1,5	17,5	2,0	4,6
PS	35	1,7	15,7	2,2	5,1
FT	28	2,6	32,4	3,4	9,8
DB	33	1,6	15,5	1,5	4,8

Tabelle 4: Zahl und Dauer der röntgendiagnostischen Untersuchungen gemittelt über die einzelnen Herzfehler.

In den Abbildungen 1 - 3 werden die Anzahl an Herzkatheteruntersuchungen, Herzfernaufnahmen und Angiokardiographien für die einzelnen Herzfehler vergleichend nebeneinander aufgetragen.

Die Abbildung 4 stellt die Dauer der Durchleuchtungszeit bei den einzelnen Herzkatheteruntersuchungen dar.

Die Abb.1 und 2 zeigen deutlich, daß die Fallotkinder erheblich mehr HKU und HFA benötigen als alle anderen Herzfehler. Bemerkenswert ist, daß die anderen Herzfehler mit ihren Werten so dicht beieinander liegen. Wie man sieht, macht man keinen großen Fehler, wenn man einen Durchschnittswert für VSD, ASD, AoS, PS und DB nimmt.

Abb.3 zeigt, daß die Zahl der Angiokardiographien pro HKU relativ konstant sind - etwa bei jeder dritten HKU werden zwei, sonst immer nur eine AKG angefertigt. Nur der ASD liegt mit 1,5 AKG pro Katheteruntersuchung etwas höher - der DB mit 0,9 etwas tiefer.

In Abb.4 sind die Schwankungen in der Dauer der Einzel-Herkatheteruntersuchung gering. Wenn man die Werte aus dem zweiten Teil mitberücksichtigt, ergibt sich aus 734 HKU ein Mittelwert von 10,3 min.

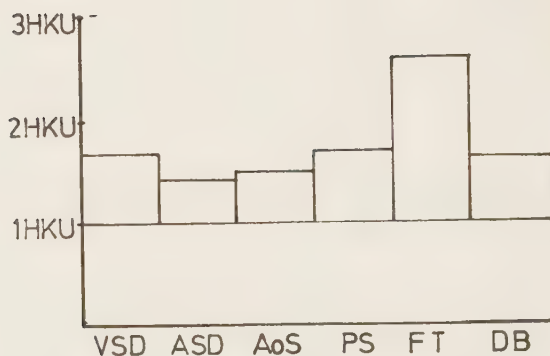


Abb.1: Abhängigkeit der Anzahl an Herzkatheteruntersuchungen vom Typ des Herzfehlers.

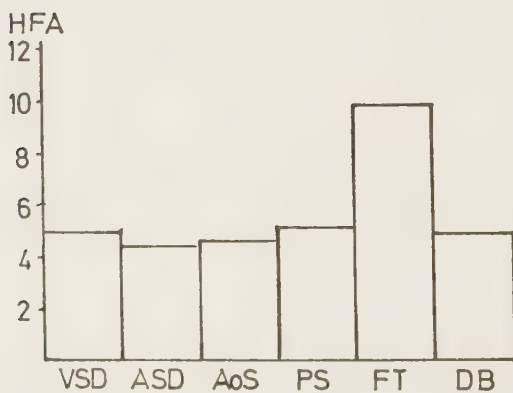


Abb.2: Abhängigkeit der Anzahl an Herzfernaufnahmen vom Typ des Herzfehlers.

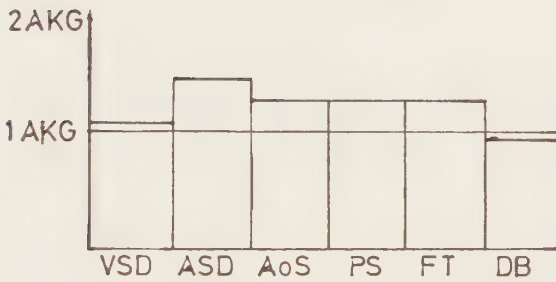


Abb.3: Abhängigkeit der Anzahl an Angiokardiographien vom Typ des Herzfehlers.

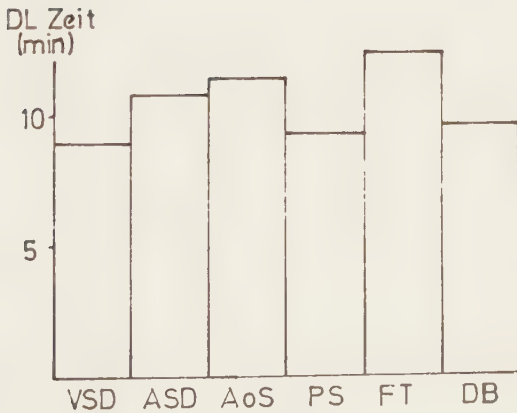


Abb.4: Abhängigkeit der Durchleuchtungszeit bei der Einzel-Herzkatheteruntersuchung vom Typ des Herzfehlers.

Wir haben nun die Zahl der röntgendiagnostischen Untersuchungen bei den verschiedenen Patienten und Herzfehlern ermittelt. Allerdings geben uns diese Zahlen noch keinen genügenden Anhalt für die Strahlenbelastung.

Um die Anteile der einzelnen röntgendiagnostischen Methoden an der Strahlenbelastung ermitteln zu können, müssen wir die Häufigkeitszahlen mit einer Dimension koppeln, die uns die jeweilige Dosisbelastung angibt. Das geschieht im folgenden Teil der Arbeit.

Dosismessung mit dem Diamantor

Seit Januar 1976 werden an der Erlanger Kinderklinik bei jeder Körperuntersuchung Dosimeter des Typs "Diamantor" eingesetzt. Das sind Meßgeräte, die an der Röhre vorne angebracht sind, die austretende Strahlenmenge messen und das Produkt aus Fläche und Dosis, das Flächendosisprodukt ($F \cdot D$) in $R \times cm^2$ angeben. Diese Meßgeräte werden heute generell im Routinebetrieb eingesetzt und ermöglichen nach Übereinstimmender Meinung in der Literatur (GURSKY 1974) eine technisch einfache und doch aussagekräftige Angabe über die Strahlendosen.

Da nur ein geringer Teil der röntgendiagnostischen Untersuchungen aus dem ersten Teil direkt mit dem Diamantor gemessen werden konnte, mußten aus den vorliegenden Meßwerten des Jahres 1976 die Werte ermittelt werden, die den Untersuchungen aus dem ersten Teil zugrunde gelegt werden können.

Die Dosimetermessungen der Herzfernaufnahmen sind einfach auszuwerten, aber bei den Herzkatheteruntersuchungen brauchen wir mehr Angaben.

Haben wir aber das Flächendosisprodukt in $R \times cm^2$ und die Durchleuchtungszeit in min, dann läßt sich hieraus sehr einfach die Flächendosisleistung ausrechnen, die wir den weiteren Untersuchungen zugrunde legen wollen:

$$\text{Flächendosisproduktleistung} = \frac{\text{Flächendosisprodukt}}{\text{Dl-Zeit}}$$

Wichtig ist noch zu sagen, daß die Geräte nicht unterscheiden, welche Dosis aus der Durchleuchtung und welche aus den Angiokardiographien stammt - sie addieren einfach die Werte. So sind in den Diamantorwerten aus den Herzkatheteruntersuchungen die Angiokardiographien mit enthalten.

Außerdem kann man die untersuchten Kinder in Altersklassen einteilen, und dann müßten die Flächendosisleistungen bei jüngeren Kindern niedriger sein als bei älteren. Denn bei den kleineren Kindern ist ja sowohl Strahlenintensität als auch eingeblendete Fläche kleiner.

Auswertung der Diamentormessungen:

Bei den Herzfernaufnahmen ist die Auswertung einfach. Bei 100 HFA schwankte das Flächendosisprodukt pro Aufnahme zwischen 3 und 15 $R \times cm^2$. Der Mittelwert liegt bei 5,5 $R \times cm^2$.

Wesentlich strahlenintensiver ist die Herzkatheteruntersuchung. Auch schwankt hier die Strahlendosis mit der Dauer der Untersuchung und dem Alter des Kindes in ganz anderen Bereichen. Deshalb ist eine eingehende Untersuchung notwendig.

Es wurden 207 verwertbare Herzkatheteruntersuchungen von Januar bis Juli 1976 ausgewertet. Daraus wurden vier Gruppen gebildet, die nach dem Alter der untersuchten Kinder eingeteilt sind. Für jede dieser Altersklassen wurde aus den Flächendosisproduktleistungen der Mittelwert errechnet. Die Ergebnisse zeigt Abb. 6. Deutlich sieht man, wie die Mittelwerte der Flächendosisproduktleistung mit dem Alter der Kinder ansteigen.

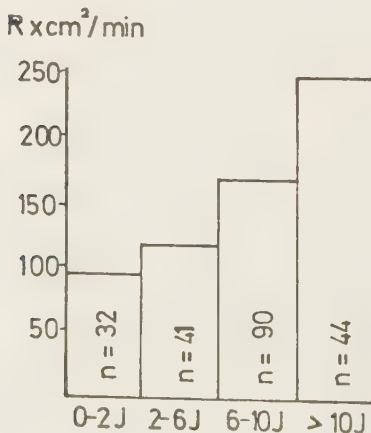


Abb. 6: Abhängigkeit der Werte der Flächendosisproduktleistung ($R \times cm^2 / min$) vom Alter der Kinder (Abszisse).
n = Zahl der Fälle.

Die Werte waren ziemlich gestreut, und deswegen wurde noch geprüft, ob sie auch normal verteilt sind. In den folgenden Diagrammen ist die Verteilung der Dosimeterwerte in den einzelnen Altersgruppen aufgetragen. Dabei wurden die Flächendosisproduktleistungen in Klassen von $50 \text{ R} \times \text{cm}^2 / \text{min}$ zusammengefaßt.

Zahl der
Fälle

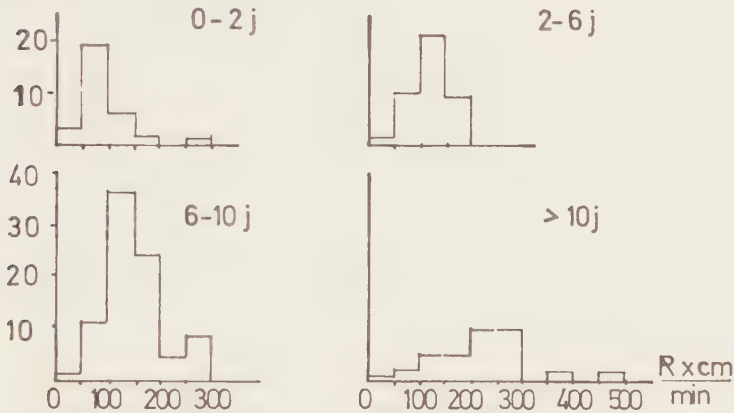


Abb.7: Verteilung der Flächendosisproduktleistungen in den einzelnen Altersgruppen. Auf der Abszisse wurde die Flächendosisproduktleistung in Klassen von $50 \text{ R} \times \text{cm}^2 / \text{min}$ aufgetragen, in der Ordinate die Anzahl der Fälle, mit der die jeweiligen Klassen besetzt waren.

Deutlich erkennt man wieder das Ansteigen der Flächendosisproduktleistung mit dem Alter. Je älter die Kinder sind, desto weiter rechts liegt das Maximum der Kurve. Die errechneten Mittelwerte liegen also wirklich dort, wo die meisten Fälle liegen.

In folgender Tabelle sind die Mittelwerte der Flächendosisproduktleistungen und ihre Standardabweichung in den einzelnen Altersgruppen aufgetragen.

	Flächendosisprodukt- leistung ($\text{Rcm}^2 / \text{min}$)	Standardabweichung ($\text{R} \times \text{cm}^2 / \text{min}$)
0 - 2 J	90	48,19
2 - 6 J	116	38,78
6 - 10 J	165	89,00
über 10 J	240	111,73

Um nun die gesamte Strahlenbelastung zu schätzen, die ein Kind mit angeborenem Herzfehler im Laufe der Jahre abbekommt, wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Aus Tab. 4 übernimmt man die durchschnittlichen Werte für die Minutendauer der Herzkatheteruntersuchungen und für die Anzahl der Herzfernaufnahmen.

2. Als Mittelwert der Flächenprodukt-dosisleistungen für Herzkatheter und Angiokardiographien nimmt man den Mittelwert aus den 207 Katheteruntersuchungen, nämlich $163 \text{ R} \times \text{cm}^2$. Als Mittelwert der Flächendosisprodukte bei Herzfernaufnahmen nimmt man $5,5 \text{ R} \times \text{cm}^2$.

3. Wie oben besprochen, teilen wir die Kinder in solche mit Fallot-Tetralogie und alle übrigen.

Die Belastung errechnet sich nun für jedes Kind folgendermaßen:
(min HKU) $\times$ (zugehörige Flächendosisproduktleistung) +
+ (Anzahl HFA) $\times$ (Flächendosisprodukt pro Aufnahme)

Errechnet man nach dieser Formel die gesamte Strahlenbelastung, die für ein Kind mit angeborenem Herzfehler im Durchschnitt entsteht, so ergibt sich ein Flächendosisprodukt von
 6335 Rcm^2 für Kinder mit Fallot-Tetralogie
 2725 Rcm^2 für Kinder mit anderen Herzfehlern.

Im allgemeinen wird nun nicht das Flächendosisprodukt als Maß für die Strahlenbelastung angegeben, sondern die Dosisbelastung in Röntgen. Die Einfallsdosis ist nun aber dem Flächendosisprodukt direkt proportional, und wir erhalten die Dosis in Röntgen einfach dadurch, daß wir das Flächendosisprodukt durch die eingeblendete Fläche teilen. Freundlicherweise hat mir Herr POPP (mündl. Mitteilung) den Durchschnittswert der eingeblendeten Fläche bei HKU an Kindern zur Verfügung gestellt; dieser beträgt in Erlangen 184 cm^2 . Dadurch ergibt sich eine Gesamtdosisbelastung von
 $34,5$ Röntgen für Kinder mit Fallot-Tetralogie und
 $14,8$ Röntgen für Kinder mit anderen Herzfehlern.

Überraschend gering ist der Anteil der Herzfernaufnahmen an der Dosisbelastung - er liegt mit 1 - 2 % so niedrig, daß man ihn fast vernachlässigen kann.

Besprechung der Ergebnisse:

Zum ersten Teil ließ sich keine vergleichende Untersuchung finden. Durch die Zahl von 314 Patienten sind die ermittelten Werte repräsentativ und ergeben eine fundierte Grundlage für die Ermittlung der Strahlenbelastung bei Herzkindern im Laufe der Jahre.

Zum zweiten Teil gibt es mehr Literatur, aber auch hier überrascht, wie wenig zu diesem Thema gearbeitet wurde. Das stellt auch GOUGH 1968 fest: "surprising, that little has been published concerning the radiation dosis" - gemeint ist bei der Herzkatheteruntersuchung. Die Titel einiger Arbeiten wurden im Anhang angeführt - es finden sich aber kaum Angaben zum Flächendosisprodukt.

Die Flächendosisproduktleistung wird bei Herzkatheteruntersuchungen wie folgt angegeben:

ARDRAN 1970	100 R x cm ² /min.
ZIELER 1965	140 R x cm ² /min.
eigene Messung	163 R x cm ² /min.

Die oberen Zahlen wurden nicht ausdrücklich bei Kindern gewonnen. Daß die eigenen Werte höher sind, ist damit zu erklären, daß in Erlangen die Dosis aus den AKG mit in den Gesamtdosimeterwert bei der Herzkatheteruntersuchung eingeht.

Bei den Herzfernaufnahmen wird das Flächendosisprodukt pro Aufnahme folgendermaßen angegeben:

ARDRAN	1970	2 - 40 R x cm ² (MW 15,5)
Schellmann	1970	2,5-17 R x cm ² (kein MW)
eigene Messung		3 - 15 R x cm ² (MW 5,5)

Schellmann hat nur bei Kindern gemessen, und seine Werte decken sich gut mit denen, die im Rahmen dieser Arbeit gemessen wurden.

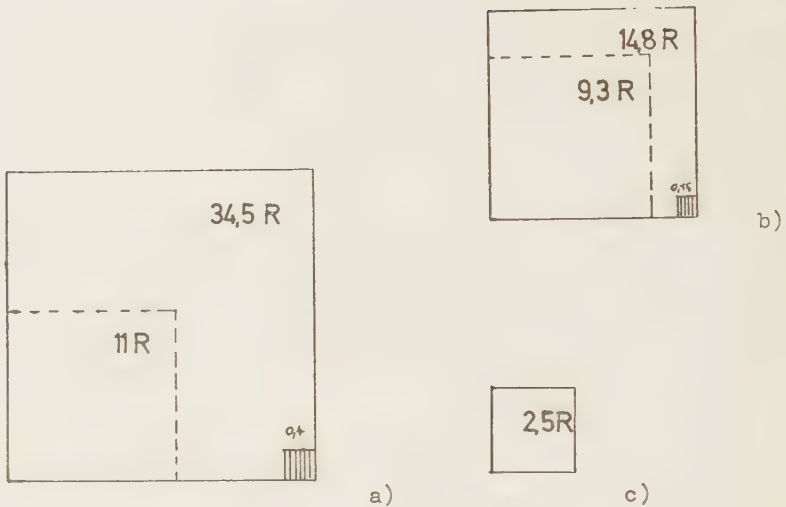


Abb.8: Vergleichende Darstellung der durchschnittlichen Strahlenbelastung eines Kindes mit Fallot-Tetralogie (a) und einem der anderen Herzfehler (b) mit der, die bei der Magendarmpassage eines Erwachsenen entsteht (c). (Oberflächendosis in Röntgen; $1 \text{ cm}^2 \hat{=} 1 \text{ R}$).

Die gestrichelt umrandeten Quadrate in a) und b) stellen die Oberflächendosis dar, die bei einer einzelnen HKU entsteht; die kleinen gestreiften Quadrate stellen die Gesamtdosis dar, die aus allen Herzfernaufnahmen entsteht.

Die durchschnittliche Beobachtungszeit der Kinder mit Fallot-Tetralogie betrug 6 Jahre, die der Kinder mit einem der anderen Herzfehler 4,5 Jahre.

Um eine Vorstellung von der Röntgenbelastung zu erhalten, der ein Kind bei einer Herzkatheteruntersuchung ausgesetzt ist, wurde in Abb. 8 versucht, diese Belastung mit einer röntgendiagnostischen Routineuntersuchung zu vergleichen. Hierfür wurde die Magen-Darm-Passage (MDP) des Erwachsenen herangezogen. Der Wert stammt aus dem Jahresbericht für Strahlenschutz, herausgegeben vom Bundesministerium des Inneren. Bei einer einzigen Herzkatheteruntersuchung wird der kindliche Organismus einer viermal so hohen Dosis ausgesetzt wie ein Erwachsener bei einer MDP.

Gerade weil der kindliche Organismus besonders empfindlich gegen Strahlenbelastung ist - wie ja jedes in Wachstum befindliche Gewebe - muß man vor jeder Untersuchung Nutzen und Schaden sorgfältig gegeneinander abwägen. Außerdem muß man bei jeder Untersuchung peinlich darauf achten, die Belastung so gering wie möglich zu halten (kleines Feld einblenden, kurze Durchleuchtungszeit, möglichst wenig Angiokardiographien).

Zusammenfassung

Bei 314 Kindern, die wegen eines angeborenen Herzfehlers in der Kardiologischen Abteilung der Universitäts-Kinderklinik Erlangen-Nürnberg in Beobachtung waren, wurde die Zahl der durchgeführten röntgendiagnostischen Untersuchungen ermittelt und nach Behandlungsdauer geordnet. Für jeden Herzfehler wurde die Anzahl an Herzkatheteruntersuchungen und die Durchleuchtungszeit sowie die Anzahl der Herzfernaufnahmen und Angiokardiographien bestimmt und miteinander verglichen. Anschließend wurde aus Dosimetermessungen mit dem Diamentor die Strahlenbelastung der einzelnen Untersuchungsverfahren bestimmt.

Die Untersuchungen ergaben, daß die Strahlenbelastung bei Kindern mit Fallot-Tetralogie im Durchschnitt doppelt so hoch ist wie bei den Kindern mit anderen Herzfehlern. Der entscheidende Anteil an der Belastung entsteht durch die Herzkatheteruntersuchungen; die Herzfernaufnahmen machen nur 1 - 2 % der Gesamtbelastung aus.

Die Dosisbelastung bei einer Herzkatheteruntersuchung ist viermal so hoch wie die Dosisbelastung bei der Magen-Darm-Passage eines Erwachsenen.

Die Ergebnisse werden mit der Literatur verglichen und diskutiert.

LITERATURVERZEICHNIS:

- G.ARDHAN: Radiation dose to the patient in cardiac radiology
Br.J.Rad. 43,319 (1970)
- F.WACHSMANN: Dosisbelastung des Patienten bei röntgenologischen
Untersuchungen
- D!SCHOEN: Beziehungen zwischen Flächenionisationswert und Skrotal-
dosis bei Durchleuchtungen der Thorax und Abdominalorgane
Fo.Röntgenstrahlen Bd.105,Heft 2,213 (1968)
- J.H.GOUGH: Radiation doses delivered to the skin, bone marrow and
gonads of patients during cardiac catheterisation and
angiocardiographie. Br.J.Rad.41,508-518 (1968)
- T.H.HILLS, R.W.STANFORD: The problem of excessiv radiation during routine
investigations of the heart.
- E.ZEILER: Die technischen Möglichkeiten der Diagnostikdosimetrie
Rö-Werk C.H.F.Mittg HH (1965)
- I.B6JTOR,B.BOGDANY,J.KOCZKAS: Über die aus der Diagnostik stammende
Strahlenbelastung der Bevölkerung anhand
von Messungen bei Thoraxdurchleuchtung
Rö.Bl. 21 Jhg. 6 (1968)
- H.FENDEL: Patienten Dosimetrie bei Röntgenuntersuchungen im Kindesalter.
Rö. Bd 112,Heft 4
- S.GURSKY: Ermittlung der Strahlenbelastung in der Röntgendiagnostik
Rad.diagn. 4 (1974)
- B. SCHELMANN: Patienten Dosimetrie bei Röntgenuntersuchungen im
Kindesalter Diss,ER 1970
- W.POPP: persönliche Mitteilung 1977
- Bundesministerium des Inneren: Jahresbericht für
Strahlenschutz 1973

Lebenslauf

Am 12. 6. 1949 wurde ich in Augsburg geboren. Mein Vater, Dr. Fritz Hiemeyer, ist Facharzt, meine Mutter, Irmingard Hiemeyer, geborene Seyser, ist Hausfrau.

Ich besuchte die Volksschule in 8902 Göggingen und anschließend das St. Anna-Gymnasium in Augsburg. Dort legte ich im Juli 1969 die Reifeprüfung ab.

Seit dem WS 69/70 studierte ich in Erlangen Biologie und Medizin. 1975 bestand ich dort die Diplomprüfung und 1976 das medizinische Staatsexamen.

Zur Zeit arbeite ich im Forschungslabor des Instituts für Klinische Immunologie an der Universität Erlangen-Nürnberg.

Erlangen, im Januar 1977

Klaus Hans Hiemeyer

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197